"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و ششم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.23223243.2021.19.1.29.0

پهنه‌بندی بوم‌شناختی زراعی تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) در استان خوزستان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی

Agroecological zoning of wheat (*Triticum aestivum* L.) production in Khuzestan province using geographic information system and analytical hierarchy process

مریم سالمی‌نسب[1]، احمد کوچک‌زاده[2]، علی مشتطی[3] و محمدرضا انصاری[4]

چکیده

سالمی‌نسب، م.، ا. کوچک‌زاده، ع. مشتطی و م.ر. انصاری. ۱۴۰۳. پهنه‌بندی بوم‌شناختی زراعی تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) در استان خوزستان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۶ (۲): ۲۲۳ -۲۰۵.**

این تحقیق به‌منظور پهنه‌بندی بوم‌شناختی زراعی (اگرواکولوژیک) تولید گندم در استان خوزستان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و با هدف شناسایی بوم‌نظام‌های مناسب تولید گندم در استان خوزستان انجام شد. برای این منظور، لایه‌های مختلف اطلاعاتی مؤثر در رشد و تولید محصول گندم شامل عوامل اقلیمی (دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای میانگین و مقدار بارندگی)، اطلاعات خاک‌شناسی (شوری، pH، محتوای کربن آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و اطلاعات توپوگرافی (میزان شیب، جهت شیب و ارتفاع از سطح دریا) تهیه شدند. لایه‌های دما، لایه بارندگی و لایه‌های اطلاعات خاک‌شناسی با استفاده از روش‌های درون‌یابی تهیه شدند. پس از تهیه لایه‌های مختلف اطلاعاتی، پهنه‌های مناسب زراعت گندم از طریق تطبیق نیازهای گیاه با ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه، با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و هم‌پوشانی لایه‌های مورد بررسی شناسایی شدند. نتایج نشان داد که حدود ۳۸۰ هزار هکتار (۱۵/۹۴ درصد) از اراضی کشاورزی منطقه در دسته بسیار مناسب (٤)، حدود ٤٧٦ هزار هکتار (۱۹/۹٤ درصد) در دسته نسبتا مناسب (۳)، حدود ۹۷۷ هزار هکتار (٤۰/۹٤ درصد) در دسته ضعیف (۲) و حدود ۵۵۳ هزار هکتار (۲۳/۱۷ درصد) در دسته نامناسب (۱) قرار گرفتند. بر اساس نقشه پهنه‌بندی استان؛ از جنوب به سمت شمال و از غرب به سمت شرق استان، مطلوبیت عوامل محیطی بیشتر بوده و اراضی بخش شمالی برای زراعت گندم مناسب‌تر و اراضی بخش جنوبی نامناسب‌تر بودند. از جنوب به شمال استان، ارتفاع از سطح دریا، میزان بارش، شیب و حاصل‌خیزی خاک افزایش و میزان شوری خاک و دمای هوا کاهش داشتند. بر اساس نتایج این تحقیق به‌نظر می‌رسد که با اقداماتی مانند افزایش محتوای کربن آلی و بهبود حاصلخیزی خاک، آبشویی و زه‌کشی اراضی شور، تناوب زراعی، استفاده از ارقام متحمل به تنش‌های محیطی و استفاده از روش‌های نوین آبیاری در استان، می‌توان شرایط تولید گندم را بهبود داد.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، توان بوم‌شناختی زراعی، توپوگرافی، دسته‌بندی، شوری خاک و گندم

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۴ این مقاله مستخرج رساله دکتری نگارنده اول می‌باشد

۱- دانش آموخته دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران
۲- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران (مکاتبه کننده، koochekzadeh@asnrukh.ac.ir ✉)
۳- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران
۴- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

Agroecological zoning of wheat (*Triticum aestivum* L.) production in Khuzestan province using geographic information system and analytical hierarchy process

Saleminasab. M.[1], Koochekzadah, A.[2], Moshatati, A.[3] and Ansari, M.R.[4]

ABSTRACT

Saleminasab. M., Koochekzadah, A., Moshatati, A. and Ansari, M.R. 2025. Agroecological zoning of wheat (*Triticum aestivum* L.) production in Khuzestan province using geographic information system and analytical hierarchy process**. Iranian Journal of Crop Sciences. 26(2): 205-223. (In Persian).**

Introduction: During the past few decades, only a quarter of the increase in food production in the world was related to the expansion of the area under cultivation and the rest was achieved by improving the production per unit area. In today's era, due to the limited resources and the increasing population has resulted the increasing demand for food products. Thus, it is necessary to use the limited resources available in an optimal way. Agroecological zoning is considered as a necessary tool in agricultural planning. By combining the main and effective components of agriculture, it is possible to comprehensively examine the conditions of production and the environmental potentials and limitations are better investigated. Therefore, decision-makers in the agriculture sector have a comprehensive and complete road-map instead of single and scattered one, for making the right decisions (Ghaffari *et al*., 2012). Considering the special position of wheat in the production systems of the country, it is necessary to implement crop-specific research projects to enhance sustainable crop production and proper utilization of resources and to protect the environment.

Materials and Methods: This research is based on the application of geographic information system (GIS) to depict the suitable crops for wheat production in Khuzestan province, Iran. For this purpose, different layers of effective information on the growth and production of wheat including; topographical information (elevation above sea level, slope and slope direction), soil data (salinity, organic carbon, pH, nitrogen, phosphorus and potassium contents) and climatic parameters (minimum temperature, mean temperature and maximum temperature and rainfall) were determined using the analytical hierarchy process (AHP), weighted and overlapped, and the cultivation areas were estimated. Temperature layers were prepared using regression equations and nearest neighbor interpolation methods, and rainfall layer after examining different interpolation methods and choosing the appropriate method. Then, the suitable areas for wheat production were determined by matching the needs of this plant with the characteristics of the studied area by using the principles of analyitical hierarchy process and the overlap of the studied layers.

Results: In this research, different climatic, soil parameters and topography factors and the opinion of agriculture experts of Khuzestan province in the form of AHP questionnaires were used to determine suitable and unsuitable areas for wheat production and four categories were identified.

Conclusion: Aaccording to the results of this research, it can be concluded that in the relatively poor and poor lands in the south, southwest and west of the Khuzestan province, it is possible to improve the quality of the soil by carrying out a series of research and measures. Considering the restrictions in these areas, some measures such as increasing soil organic carbon and improving soil fertility, leaching and draining saline soils, setting appropriate crop rotations, using adapted cultivars tolerant to prevailed environmental stresses, increasing water productivity by modern irrigation methods can be recommended to improve the environmental conditions for production of wheat in these areas.

Key words: Agroecologic capacity, Climate, Classification, Soil salinity, Topoghraphy and Wheat

Received: July, 2024 **Accepted: September, 2024**

1. Former PhD Student, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
2. Associate Prof., Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
(Corresponding author, ✉ koochekzadeh@asnrukh.ac.ir)
3. Associate Prof., Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
4. Assistant Prof., Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

مقدمه

با توجه به محدودیت منابع و افزایش روزافزون جمعیت و افزایش تقاضا برای محصولات غذایی، از جمله گندم، استفاده بهینه از منابع محدود فعلی ضروری است. گندم یک گیاه زراعی راهبردی و اساسی در کل کشورهای دنیا و یکی از منابع مهم در سبد غذایی مردم ایران بوده و تامین کننده قسمت اعظم کالری و پروتئین مورد نیاز افراد جامعه است (Kamali *et al.*, 2008). جمعیت ایران تنها یک درصد از جمعیت کل جهان است، اما ۲/۵ درصد از کل گندم جهان در ایران مصرف می‌شود. مصرف سرانه گندم در ایران حدود ۱۳۵کیلوگرم است که بخش عمده آن به صورت نان مصرف می‌شود. میانگین مصرف سرانه جهانی گندم ۶۸ کیلوگرم است. به این ترتیب ایران در ردیف کشورهای پرمصرف گندم قرار داشته و نیاز به تولید بیشتر گندم در ایران یک ضرورت محسوب می‌شود.

پهنه‌بندی بوم‌شناختی زراعی (اگرواکولوژیک)، یک ابزار ضروری در برنامه‌ریزی کشاورزی است. با تلفیق اجزای اصلی و مؤثر کشاورزی، امکان بررسی همه جانبه شرایط تولید و شناسایی بهتر پتانسیل‌ها و محدودیت‌های محیطی فراهم می‌شود. بر این اساس تصمیم‌گیرندگان بخش کشاورزی می‌توانند با در دست داشتن یک نقشه جامع و کامل به‌جای نقشه‌های مجزا و پراکنده، تصمیمات مناسب‌تری اتخاذ کنند. پهنه‌بندی زراعی بوم‌شناختی شامل چهار مرحله اصلی تلفیق داده‌ها و اطلاعات موجود، تولید اطلاعات جدید بر اساس هدف مورد نظر، ارزیابی پتانسیل تولید و برنامه‌ریزیبرای استفاده از اراضی است. در این روش یک پایگاه اطلاعاتی جامع ایجاد می‌شود که بر اساس آن می‌توان اقدام به برنامه‌ریزی انطباق فعالیت‌های زراعی با شرایط بوم‌شناختی موجود در هر منطقه نمود (Ghaffari *et al.*, 2012). با استفاده از این روش، مناطق مناسب برای زراعت گیاهان مشخص شده و از کشت گیاهانی که در مناطقی کارایی کمی دارند، اجتناب می‌شود (Sanjani, 2012).

نتایج حاصل از تهیه لایه‌های اطلاعاتی بوم‌شناختی زراعی بر مبنای وزن‌دهی با فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در حوضه مارون استان خوزستان نشان داد که ۷/۴ درصد از این منطقه برای زراعت گندم و کلزا بسیار مناسب و ۹/۸ درصد نسبتاً مناسب هستند (Heidarpour *et al.*, 2018). مصدقی و همکاران (Mosadeghi *et al.*, 2020) با پهنه‌بندی بوم‌شناختی نظام تولید گندم در دشت شاوور استان خوزستان گزارش کردند که حدود ۴۲ درصد از اراضی در دسته نسبتاً مناسب و ۵۸ درصد در دسته ضعیف قرار داشتند و پتانسیل تولیدی مزارع گندم در بوم‌نظام‌های مختلف بین ۲/۵ تا۴/۴ تن در هکتار متغیر بود. میکانیکی و همکاران (Mikaniki *et al.*, 2013) با استفاده از عناصر و عوامل اقلیمی با فرایند تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی، شهرستان ایذه در استان خوزستان را برای کلزا پهنه‌بندی کردند. بر اساس نتایج آنها از ۳۷۷۹/۳۹ کیلومتر مربع مساحت شهرستان ایذه، طبقهٔ بسیار مناسب این نقشه ۵۶۵/۱۵۹۷۷ کیلومتر مربع (معادل ۱۴/۹۵ درصد) و طبقهٔ دوم یعنی مناسب ۹۶۳/۱۵۹۹ کیلومتر مربع (معادل ۲۵/۴۸ درصد) مساحت منطقه بود.

نتایج ارزیابی تناسب زراعت گندم با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور و فرآیند تحلیل شبکه‌ای در حوزه قره‌سوی شهرستان گرگان نشان داد که نیازهای دمایی گندم در حوزه قره‌سو دامنه تغییرات زیادی ندارد و بر این اساس دماهای کمینه و بیشینه بر اساس جدول نیازمندی این گیاه در دسته بسیار مناسب و دمای میانگین در دسته نسبتا مناسب قرار گرفتند. بارش نیز از سمت شمال به جنوب استان گلستان روند افزایشی داشت که در حوزه قره‌سو نیز این مطلب صادق بود. بر این اساس تغییرات بارندگی در این مناطق به شرایط پستی و بلندی منطقه و نزدیکی یا دوری از دریا نسبت داده شد (Badsar *et al.*, 2018).

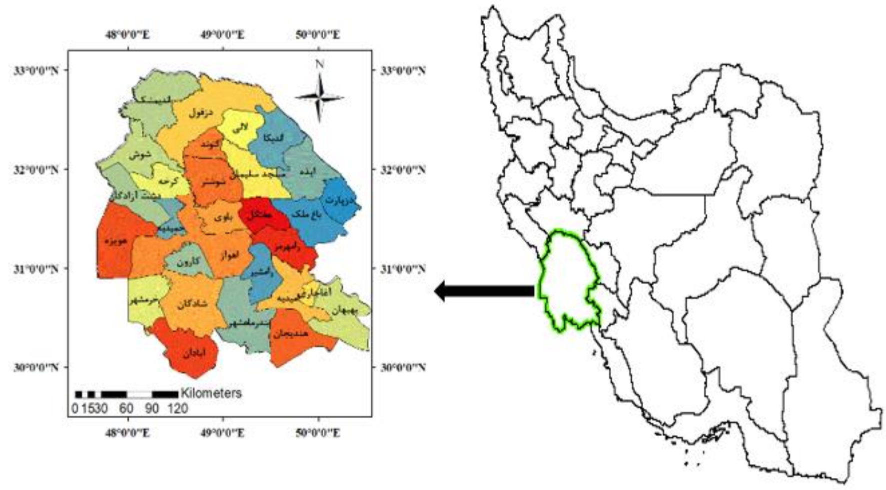
عساکره و مازینی (Asakereh and Mazini, 2010) گزارش کردند که در استان گلستان با افزایش ارتفاع از سطح دریا، میزان بارش نیز افزایشی داشت و نقش ارتفاع در میزان بارندگی بیش از طول و عرض جغرافیایی بود. علیجانی و همکاران (Alijani *et al.*, 2011) با بررسی اثر بارش و دما بر عملکرد گندم آبی در استان گلستان اظهار داشتند که میزان بارندگی بر عملکرد گندم اثر مثبت داشته و اثر کاهش بارندگی بر عملکرد دانه بیشتر از افزایش دمای هوا بود. گزارش شده است که میزان شیب، بیشترین اثر را بر عملکرد گندم پاییزه داشته و با عملکرد دانه گندم همبستگی منفی دارد (Slimangli *et al.*, 2012). ارتفاع از سطح دریا نیز نقش مهمی در تنوع اقلیم و نوع زراعت دارد. ارتفاع از یک سو با اثرگذاری بر میزان بارش و از سوی دیگر با اثر مستقیم بر دما، نقش مهمی در توسعه و یا محدودیت کشت ایفا می‌کند. در نیمکره شمالی در عرض‌های میانی، دامنه‌های جنوب شرقی تا جنوب غربی، به‌دلیل دریافت انرژی بیشتر خورشیدی، گرم ترین دامنه‌ها هستند. با توجه به اینکه شیب‌های جنوبی و شرقی بهترین مکان برای رویش گیاه هستند، در فرآیند پهنه‌بندی رتبه برتر به این دو جهت اختصاص داده می‌شود (Feizizadeh *et al.*, 2012). فکادو و همکاران (Fekadu *et al.*, 2020) با استفاده از اطلاعات اقلیمی، خاک، توپوگرافی و سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی، به پهنه‌بندی بوم‌شناختی زراعت گندم و جو در اتیوبی اقدام کردند. نقشه خروجی نهایی نشان داد که ۸۳/۲۱ درصد (۱۹۴۵/۱۷ هکتار) از اراضی منطقه مورد مطالعه نسبتا مناسب و ۱۶/۷۹ درصد (۳۹۲/۵۲ هکتار) مناسب بودند. از ادغام فرایند تحلیل سلسله مراتبی با سامانه اطلاعات جغرافیایی برای ارزیابی تناسب اراضی کشت گندم در حوضه توزانلی ترکیه استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که اراضی بسیار مناسب، متوسط و مناسب برای زراعت گندم به ترتیب ۲/۶۳، ۹/۸۵ و ۳۲/۵۹ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه را شامل بودند و ۵۴/۹۲ درصد از سطح اراضی برای زراعت گندم نامناسب تشخیص داده شد. ادغام این دو روش برای ارزیابی دقیق تناسب اراضی و برنامه‌ریزی برای تولید محصولات خاص و کاهش اثرات منفی زیست محیطی فعالیت‌های کشاورزی، مناسب تشخیص داده شد (Kilic *et al.*, 2022). ارزیابی تناسب اراضی کشاورزی با تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی و رویکرد زمین آماری در ترکیه نشان داد که ۲۵/۷ درصد (۳/۲۲۶ کیلومتر مربع) از اراضی مورد ارزیابی بسیار مناسب، ۲۷/۶ درصد (۳/۴۵۷ کیلومتر مربع) نسبتا مناسب و ۱۹/۵ درصد (۲/۴۴۰ کیلومتر مربع) برای زراعت گندم مناسب بودند و ۲۷/۲ درصد (۳/۴۱۵ کیلومتر مربع) از اراضی برای تولید محصولات کشاورزی مناسب نبود (Tugac *et al.*, 2023).

شناسایی استعداد و توان اراضی یک منطقه برای کاربری‌های مختلف کشاورزی با در نظر گرفتن حفظ منابع محیطی و تولید پایدار محصولات کشاورزی ضروری است. با توجه به جایگاه نخست استان خوزستان از نظر سطح زیر کشت و تولید گندم (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۴۰۰) و با توجه به اینکه در تحقیقات قبلی عمدتا بر روش‌های اقلیمی و برآورد کیفی تمرکز شده بود، تحقیق حاضر به‌منظور پهنه‌بندی بوم‌شناختی زراعی گندم با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (Geographic Information System) و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy Process) در خوزستان، با هدف شناسایی پتانسیل‌ها و محدودیت‌های منابع مرتبط با زراعت گندم و دستیابی به پایداری سیستم‌های تولید انجام شد.

مواد و روش‌ها

استان خوزستان در جنوب‌غربی ایران قرار دارد. مساحت این استان ۶۴۰۷۵ کیلومتر مربع و با جمعیت

۴/۷۱۰/۵۰۹ نفر (۱۳۹۵)، پنجمین استان پرجمعیت کشور است. استان خوزستان از شمال غربی با استان ایلام، از شمال با استان لرستان، از شمال شرقی و شرق با استان‌های چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد، از جنوب با خلیج فارس و از غرب با کشور عراق هم‌مرز است. بر اساس تقسیمات کشوری سال ۱۴۰۰، این استان ۲۹ شهرستان، ۷۰ بخش، ۸۸ شهر و ۱۴۶ دهستان مسکونی دارد. مرکز استان خوزستان، شهر اهواز و شهرستان های استان شامل آبادان، آغاجاری، امیدیه، اندیکا، اندیمشک، اهواز، ایذه، باغ ملک، باوی، بهبهان، بندر ماهشهر، حمیدیه، خرمشهر، دزپارت، دزفول، دشت‌آزادگان، رامهرمز، رامشیر، شادگان، شوش، شوشتر، کارون، کرخه، گتوند، لالی، مسجدسلیمان، هفتگل، هندیجان و هویزه هستند (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه (استان خوزستان)

Fig. 1. Location of the study area (Khuzestan province, Iran)

استان خوزستان یکی از استان‌های مهم تولیدکننده محصولات کشاورزی کشور است. طبق آمارنامه کشاورزی (محصولات زراعی) وزارت جهاد کشاورزی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰، میزان تولید گندم آبی کشور حدود ۸/۸۱ میلیون تن، معادل ۱۱/۱۸ درصد از کل تولید محصولات زراعی آبی بوده که استان‌های خوزستان با سهم ۱۷/۸۳ درصد، فارس با سهم ۱۰/۵۶ درصد، خراسان رضوی با سهم ۸/۵۴ درصد، کرمانشاه با سهم ۶/۳۱ درصد و گلستان با سهم ۶/۰۹ درصد در رتبه‌های اول تا پنجم تولیدکنندگان گندم آبی کشور قرار داشتند. در این پنج استان جمعا حدود ۴۹/۳۴ درصد از کل تولید گندم آبی کشور تولید شد (Ashraf Jahani, 2021).

اطلاعات مورد نیاز در این پژوهش شامل داده‌های اقلیمی، خاک، توپوگرافی و گیاهی بودند. جهت محاسبه و ارزیابی شاخص‌های اقلیمی کشاورزی از متغیرهای هواشناسی طولانی مدت ۳۰ ساله (۱۴۰۱-۱۳۷۱) از ۲۰ ایستگاه سینوپتیک و ۶۰ ایستگاه کلیماتولوژی و باران‌سنجی استان خوزستان استفاده شد. عوامل اقلیمی مورد استفاده شامل دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای میانگین و میزان بارش روزانه بودند. برای ارزیابی ویژگی های خاک نظام‌های تولید استان خوزستان و تهیه نقشه خاک، از مطالعات نیمه تفصیلی دقیق خاکشناسی و طبقه‌بندی اراضی شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی استان خوزستان که توسط سازمان جهاد کشاورزی، شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی، سازمان

آب و برق استان خوزستان انجام شده است، استفاده شد (Mosadeghi *et al.*, 2020). این اطلاعات شامل هدایت الکتریکی، pH، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک بودند. فواصل نقاط به صورت شبکه‌ای نامنظم و تصادفی در سطح استان خوزستان انتخاب شدند. تعداد کل نقاط عوامل خاکی ۱۵۳۵ نقطه بود. پس از بررسی آماری اولیه داده‌ها با نرم‌افزار SPSS و حذف نقاط پرت، داده‌های مورد نظر انتخاب شدند. برای تهیه نقشه ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت شیب از مدل رقومی ارتفاعی (Digital Elevation Model; DEM) ۳۰ متری منطقه مورد مطالعه استفاده شد. اطلاعات اقلیمی، خاکی و توپوگرافی و درجه تناسب آن‌ها برای زراعت گندم در جدول ۱ ارائه شده است (Kazemi *et al*,. 2016; Sys *et al*, 1993).

جدول ۱- درجه تناسب عوامل اقلیمی، خاکی و توپوگرافی برای زراعت گندم

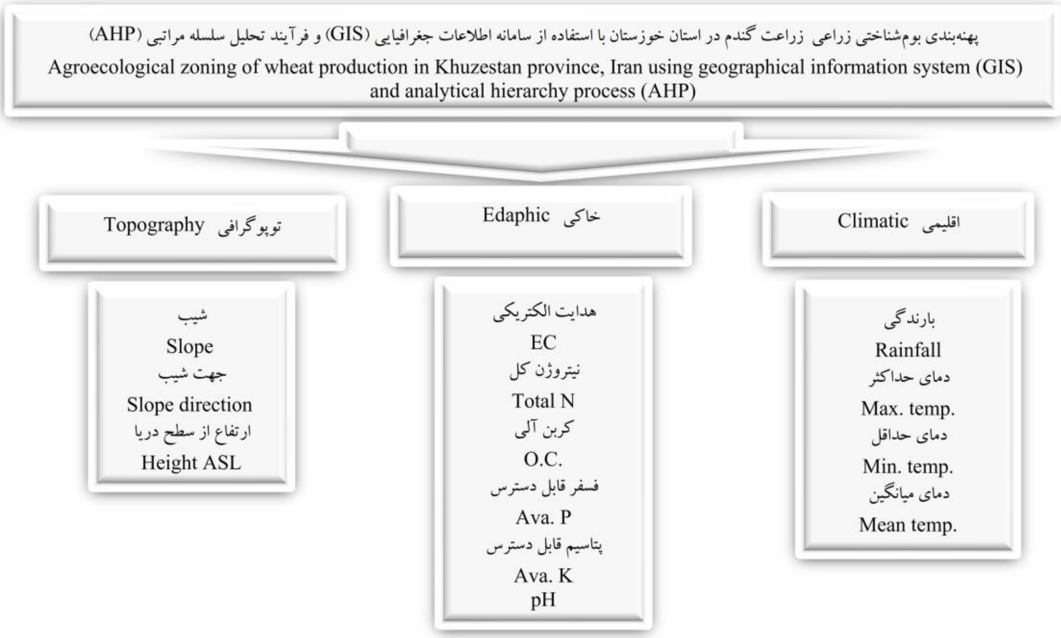
Table 1. Degree of suitability of climatic, soil and topographical factors for wheat production

Factor	عامل	بسیار مناسب Very suitable (S_1)	نسبتا مناسب Moderate (S_2)	ضعیف Poor (S_3)	نامناسب Not suitable (N)
Rainfall (mm)	بارندگی	>400	300-400	200-300	<200
Min. temp. (°C)	دمای حداقل	10-15	7-10	4-7	<4
Mean temp. (°C)	دمای میانگین	16-20	12-16, 20-24	8-12, 24-30	<8, >30
Max. temp. (°C)	دمای حداکثر	20-25	25-30	30-37	>37
EC ($dS.m^{-1}$)	هدایت الکتریکی	0-4	4-8	8-12	>12
pH	اسیدیته	6.5-7.5	5.5-6.5, 7.5-8.5	5-5.5	<5.5
O.C. (%)	کربن آلی	>1.5	0.8-1.5	0.4-0.8	<0.4
Total N (%)	نیتروژن کل	>1	0.7-1	0.5-0.7	<0.5
Available P ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل دسترس	10-12	7-10, 12-15	5-7, 15-18	<5, >18
Available K ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل دسترس	200-250	150-200, 250-300	100-150	<100
Height ASL. (m)	ارتفاع از سطح دریا	0-1000	1000-2000	2000-3000	>3000
Slope (%)	شیب	0-4	4-8	8-12	>12
Slope direction	جهت شیب	جنوبی، جنوب‌ش، بدون جهت South, Southeast, Flat	شرقی، شمال‌ش East-Northeast	جنوب‌غ، شمال‌غ Southwest, Northwest	غربی، شمالی West-North

مقادیر عوامل اقلیمی مورد نیاز (دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای میانگین، و میزان بارندگی) فقط برای برخی ایستگاه‌های شهرستان‌های استان موجود بودند که تنها به صورت نقاط قابل استناد بوده و برای پهنه‌بندی قابل استفاده نیستند، بنابراین ابتدا با استفاده از این نقاط معلوم، نقاط مجهول در محیط جی آی اس درون‌یابی شده و نقشه پهنه‌بندی عوامل اقلیمی منطقه مورد نظر رسم شد. برای رسم نقشه‌های رقومی عوامل اقلیمی از نرم افزار ArcGIS10.8 استفاده شد. لایه‌های دما با استفاده از معادلات رگرسیونی و روش‌های درون‌یابی نزدیک‌ترین همسایگی (Nearest neighbor) در محیط جی آی اس درون‌یابی شده و در نهایت روش کوکریجینگ (Co-kriging) انتخاب شد. لایه مربوط به بارندگی نیز پس از بررسی روش‌های مختلف درون‌یابی (روش وزن‌دهی فاصله معکوس، کریجینگ وکوکریجینگ) در محیط جی آی اس درون‌یابی شده و روش کوکریجینگ به عنوان مناسب‌ترین روش درون‌یابی انتخاب شد. مبنای انتخاب مناسب‌ترین روش درون‌یابی مقدار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و مقدار ضریب تبیین (CD) بودند. هر چه مقدار جذر میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق کمتر و ضریب تبیین به یک نزدیک‌تر باشد، دقت و صحت روش بالاتر بوده و از همان روش به‌عنوان بهترین روش درون‌یابی استفاده شد.

برای رسم نقشه‌های رقومی ویژگی‌های خاک (شوری، کربن آلی، pH، محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم) از بین سه روش مختلف درون‌یابی کریجینگ، وزن دهی فاصله معکوس و توابع پایه شعاعی، با توجه به شاخص‌های ارزیابی آماری، روش درون‌یابی کریجینگ انتخاب شد. لایه‌های عوامل توپوگرافی شامل میزان شیب، جهت شیب و ارتفاع از سطح دریای محدوده مورد مطالعه بودند. پس از استخراج مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با مقیاس یا بزرگ‌نمایی ۳۰ متر، محدوده مورد مطالعه از نقشه‌های توپوگرافی سه بعدی و اصلاح خطاهای بزرگ و کوچک آن در محیط جی آی اس تهیه و بر اساس طبقه‌بندی نیازمندی‌های گیاه گندم (جدول ۱) دسته‌بندی انجام و مساحت هر طبقه محاسبه شد. به‌منظور مکان‌یابی مناطق مستعد زراعت گندم، انطباق ویژگی‌ها و نیازهای بوم‌شناختی گیاه زراعی با شرایط محیطی منطقه مورد نیاز است. برای این کار ابتدا نیازهای بوم شناختی و زراعی گندم با استفاده از منابع موجود تعیین شد (جدول ۱). پس از آن درجه‌بندی (دسته‌بندی) آن‌ها در چهار طبقه بسیار مناسب، نسبتا مناسب، ضعیف و نامناسب انجام شد. بر اساس متغیرهای این جدول، ۱۳ لایه‌اطلاعاتی مورد نیاز در محیط ArcGISتهیه شد. این لایه‌ها عبارت بودند از دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای میانگین، بارندگی، شوری خاک، کربن آلی، pH، نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک، ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت شیب. پس از تهیه این لایه‌ها، طبقه‌بندی و رتبه‌بندی هر لایه بر اساس دسته‌بندی در محیط جی آی اس و طبق جدول نیازهای محیطی گیاه در چهار دسته (بسیار مناسب، نسبتا مناسب، ضعیف و نامناسب) انجام شد، بدین ترتیب که برای شرایط بسیارمناسب عدد ۴، شرایط نسبتا مناسب عدد ۳، شرایط ضعیف عدد ۲ و شرایط نامناسب عدد ۱ در نظر گرفته شد. به‌منظور وزن‌دهی به معیارها با فرایند تحلیل سلسله مراتبی، ابتدا یافتن نواحی مستعد زراعت گندم، به صورت درخت سلسله مراتبی که شامل عناصر تصمیم‌گیری جدول ۱ است، مورد نظر قرار داده شد. در سطح اول، هدف اصلی، در سطح دوم، معیارهای اصلی موثر در زراعت گندم (اقلیم، خاک و توپوگرافی) و در سطح سوم، زیر شاخه‌ها یا زیرمعیارهای هر کدام از عوامل سطح دوم (۱۳ عامل) دسته‌بندی شدند (شکل ۲). برای جمع‌آوری داده‌های فرایند تحلیل سلسله مراتبی و وزن معیارها و زیرمعیارها از پرسشنامه استفاده شد. برای رسیدن به وزن نرمال هر کدام از عوامل، وزن هر معیار در زیرمعیار آن ضرب شد و سپس جمع کلیه اعداد بدست آمده و تک تک اعداد بر مجموع آن‌ها تقسیم شد. اعداد بدست آمده، وزن‌های نرمال بوده و آماده ورود به بانک اطلاعات جی آی اس و رسم نقشه نهایی مکان‌های مناسب برای زراعت گندم در استان خوزستان هستند (Kazemi, 2016).

برای جمع‌آوری داده‌های تحلیل سلسله مراتبی و تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها از پرسشنامه استفاده شد. این پرسش‌نامه‌ها حاوی مقایسات مشترک برای کلیه عوامل موثر در مکان‌یابی بودند که توسط ۳۰ متخصص رشته زراعت تکمیل شدند. پرسشنامه با استفاده از نظرات محققان زراعت، خاکشناسی، آبیاری، ترویج و آموزش کشاورزی و سایر متخصصین تنظیم و پس از چند مرحله اصلاح و بازنگری، تایید شد. پس از توزیع پرسشنامه‌ها در بین کارشناسان خبره زراعت شاغل در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی و جهاد کشاورزی استان خوزستان، ناظران طرح کشت گندم و استادان دانشگاه‌ها، قضاوت‌های مقایسه زوجی ساده‌ای از طریق سلسله مراتب ایجاد شده برای تمامی معیارها و زیرمعیارها انجام شد. پس‌از تکمیل جمع‌آوری پرسش نامه‌ها، تعیین وزن‌ها با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice11 انجام شد. مقایسه‌های زوجی در قالب ماتریس‌های مقایسات زوجی و بر اساس دامنه ۹ قسمتی انجام شد انجام شد (Saaty, 1999) (جدول ۲). باید توجه داشت که مقدار نرخ ناسازگاری باید کمتر از ۰/۱ باشد که در این تحقیق مقدار آن ۰/۰۵ بود.



شکل ۲- نمودار سلسله مراتبی عوامل موثر در زراعت گندم در اراضی کشاورزی استان خوزستان

Fig. 2. Hierarchical tree of factors affecting wheat production in arable lands of Khuzestan province, Iran

جدول ۲- مقادیر ارزش ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی

Table 2. Values of preferences for pairwise comparisons

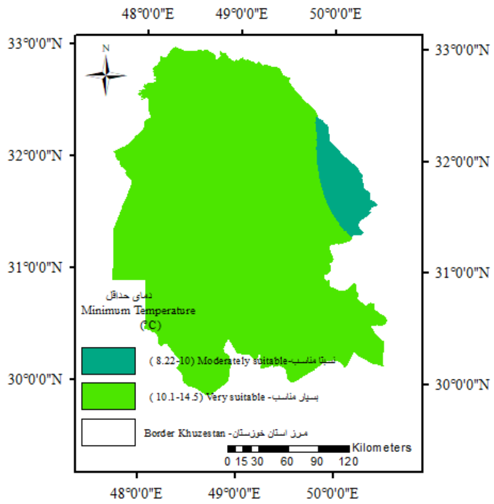
Quality class	دسته‌بندی کیفی	Value ارزش
Absolutely preferred	کاملا مرجح یا کاملا مهم‌تر و یا کاملا مطلوب‌تر	9
Very strong preference	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت بسیار قوی	7
Strong preference	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی	5
A little preferred	کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر	3
Equal preference	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان	1
Preferences between the above intervals	ترجیحات بین فواصل فوق	2, 4, 6 and 8

تعداد ۱۳ لایه تهیه شده زیرمعیارهای اقلیمی، خاک و توپوگرافی (دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای میانگین، بارندگی، شوری، کربن آلی، pH، نیتروژن، فسفر، پتاسیم خاک، ارتفاع از سطح دریا، میزان شیب و جهت شیب) دسته‌بندی شده، در وزن نرمال شده مربوط به همان لایه ضرب و با هم جمع و در نهایت هم‌پوشانی ۱۳ لایه انجام شد. لایه نهایی که همان لایه پهنه‌بندی بوم‌شناختی زراعی گندم در استان است در چهار پهنه (بسیار مناسب، نسبتا مناسب، ضعیف و نامناسب)، بر مبنای انطباق نیازهای گیاه با عوامل محیطی (جدول ۱) طبقه‌بندی شدند.

نتایج و بحث

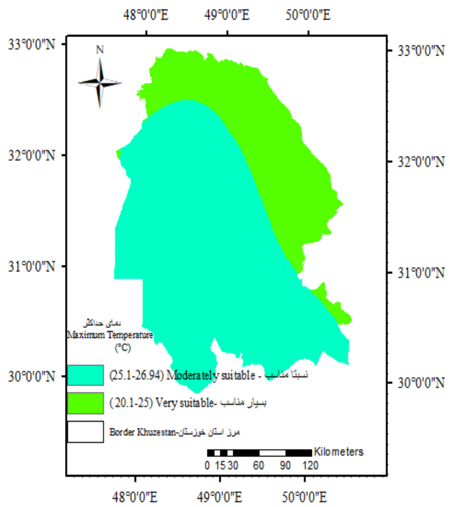
نتایج نشان داد که نیازهای دمایی گندم در استان خوزستان دامنه تغییرات زیادی نداشت و بر این اساس دماهای حداقل، حداکثر و میانگین در طبقه‌بندی بر اساس جدول ۱ در دو دسته بسیار مناسب (S_1) و نسبتا مناسب (S_2) قرار گرفتند، اما میزان بارندگی نوسان‌های مکانی زیادی داشت، به‌طوری که میزان بارش در چهار دسته بسیار مناسب (S_1)، نسبتا مناسب (S_2)، ضعیف (S_3) و نامناسب (N) قرار گرفت. دمای حداقل در بخش میانی و جنوبی استان در دسته بسیار مناسب، در بخش شمال شرقی استان در دسته نسبتا مناسب قرار داشت.

دمای میانگین در بخش شمال شرقی، میانی و بخشی از جنوب استان در دسته نسبتا مناسب و در بخش‌هایی از جنوب شرقی، شمال و غرب در دسته بسیار مناسب قرار گرفت. دمای حداکثر در بخش شمال و شرق استان در دسته بسیار مناسب و بخش جنوبی و میانی در دسته نسبتا مناسب قرار گرفت. میزان بارندگی از بخش جنوبی و غرب به سمت شمال و شرق استان روند افزایشی داشت، به‌طوری‌که دسته بسیار مناسب مربوط به بخش شمال استان و دسته نامناسب به بخش جنوبی استان بودند (شکل‌های ۳، ۴، ۵ و ۶).



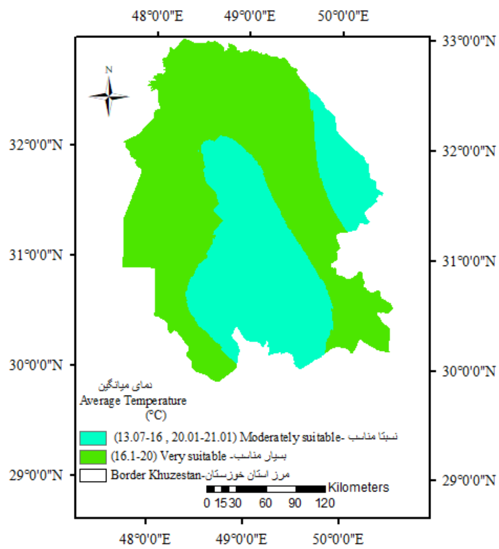
شکل ۳- نقشه توزیع مکانی دمای حداقل در استان خوزستان

Fig. 3 Map of spatial distribution of minimum temperature in Khuzestan province



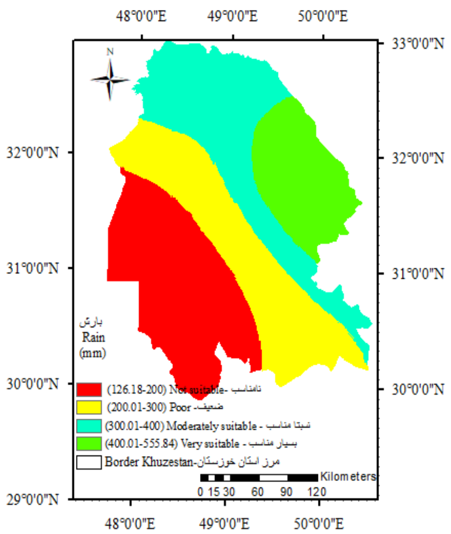
شکل ۴- نقشه توزیع مکانی دمای حداکثر در استان خوزستان

Fig. 4. Map of spatial distribution of maximum temperature in Khuzestan province



شکل ۵- نقشه توزیع مکانی دمای میانگین در استان خوزستان

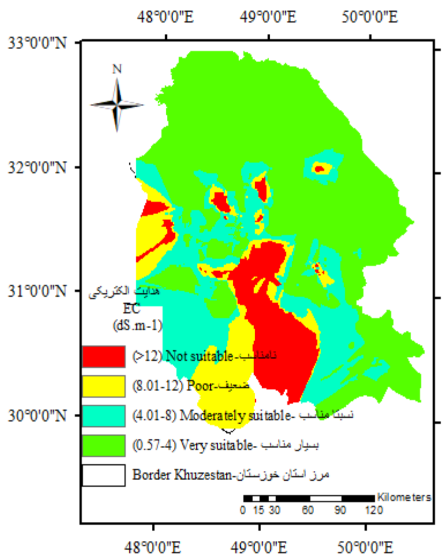
Fig. 5. Map of spatial distribution of Mean temperature in Khuzestan province



شکل ۶- نقشه توزیع مکانی میزان بارندگی در استان خوزستان

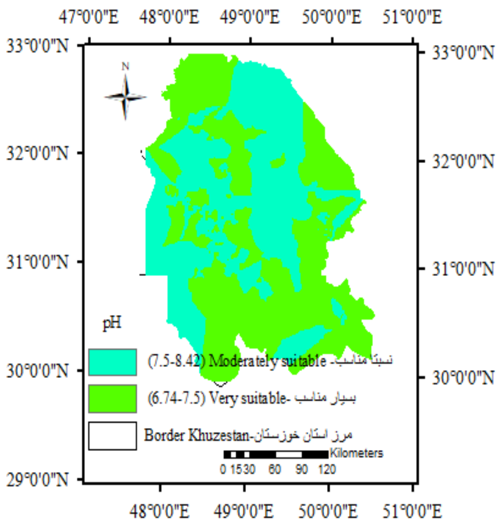
Fig. 6. Map of spatial distribution of rainfall in Khuzestan province

بر اساس دسته‌بندی عوامل خاکی و تناسب آن‌ها با زراعت گندم، میزان شوری خاک در چهار دسته بسیار مناسب (S_1)، نسبتا مناسب (S_2)، ضعیف (S_3) و نامناسب (N) طبقه‌بندی شد (شکل ۷). بخش‌های جنوبی استان دارای بیشترین میزان شوری خاک بوده و در دسته نامناسب قرار گرفت. در بخش‌های مرتفع و سمت شمال استان، شوری خاک کمتر بود. در رابطه با آستانه تحمل به شوری در گیاهان زراعی باید در نظر داشت که عواملی مانند ترکیبات نمکی یا نوع نمک، محتوای آب خاک، موجودات زنده خاک، شرایط فیزیکی خاک، توزیع نمک در پروفیل خاک، حاصل‌خیزی خاک، اقلیم، روش تهیه بستر، مرحله رشدی گیاه و نوع رقم بر آن تاثیر دارند (Badsar *et al.*, 2018). تحمل به شوری گندم تابع عوامل اقلیمی است و در مناطقی که از لحاظ شوری خاک محدودیت دارند، می‌توان با عملیات مدیریتی در جهت کاهش اثر منفی شوری، عملکرد مناسبی را به دست آورد (Ranjbar and Banakar, 2011). برای pH خاک محدودیتی جهت کشت گندم مشاهده نشد. بر اساس نتایج، pH خاک در دو دسته بسیار مناسب (S_1) و نسبتا مناسب (S_2) قرار گرفت (شکل ۸). گزارش شده است که در بیش از ۹۷ درصد خاک‌های کشور pH خاک بین ۶/۵ تا ۸/۵ است (Shahbazi and Basharati, 2013). میزان کربن آلی خاک در سه دسته نسبتا مناسب (S_2)، ضعیف (S_3) و نامناسب (N) دسته‌بندی شد (شکل ۸). بر اساس نقشه، اکثر خاک‌های زراعی استان از نظر محتوای کربن آلی در دسته ضعیف قرار دارند (شکل ۹). محتوای نیتروژن خاک در دو دسته ضعیف (S_3) و نامناسب (N) قرار داشت (شکل ۱۰). این نتایج نشان می‌دهد که خاک-های استان خوزستان از نظر محتوای نیتروژن در شرایط مناسبی قرار ندارند. بر اساس نتایج محتوای فسفر خاک در چهار دسته بسیار مناسب (S_1)، نسبتا مناسب (S_2)، ضعیف (S_3) و نامناسب (N) قرار داشت (شکل ۱۱). محتوای پتاسیم خاک نیز در سه دسته بسیار مناسب (S_1)، نسبتا مناسب (S_2) و ضعیف (S_3) قرار داشت (شکل ۱۲).



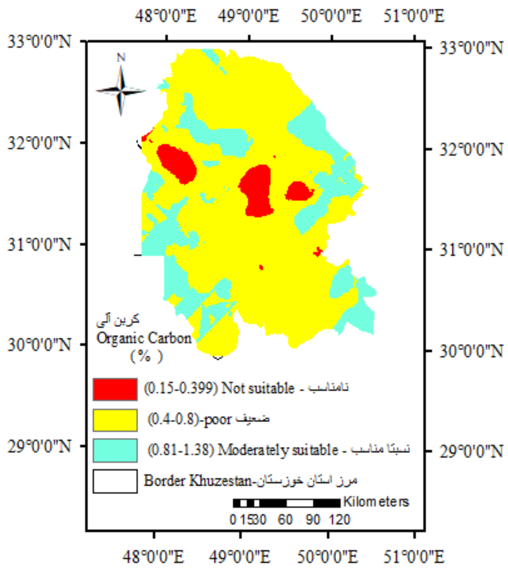
شکل ۷- نقشه هدایت الکتریکی خاک در استان خوزستان

Fig. 7. Map of soil EC in Khuzestan province



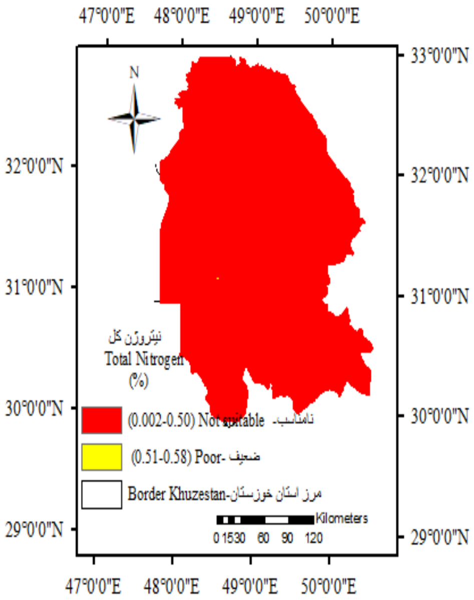
شکل ۸- نقشه pH خاک در استان خوزستان

Fig. 8. Map of soil pH in Khuzestan province



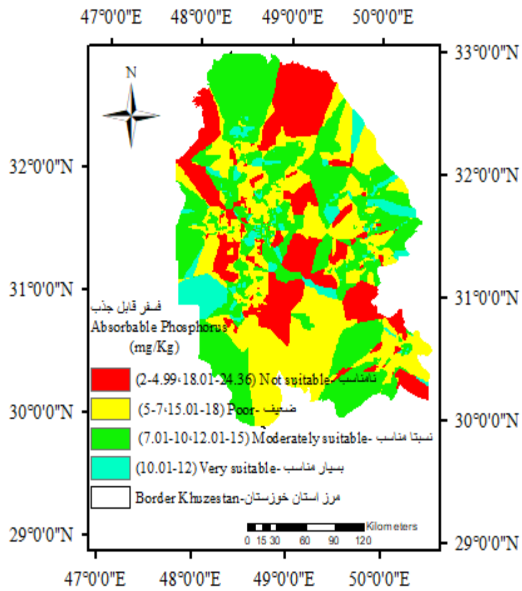
شکل ۹- نقشه محتوای کربن آلی خاک در استان خوزستان

Fig. 9. Map of soil organic carbon content in Khuzestan province



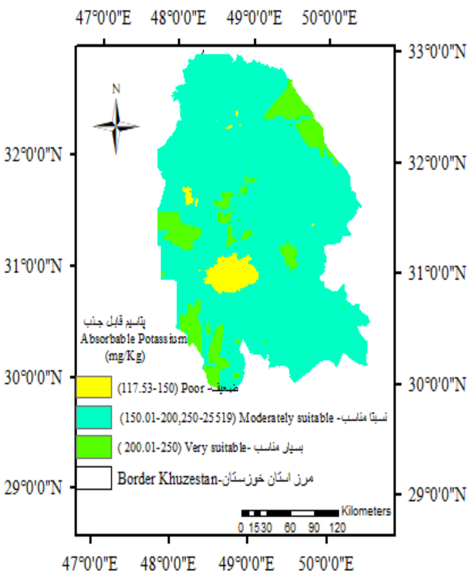
شکل ۱۰- نقشه محتوای نیتروژن خاک در استان خوزستان

Fig. 10. Map of soil nitrogen content in Khuzestan province



شکل ۱۱- نقشه فسفر قابل دسترس خاک در استان خوزستان

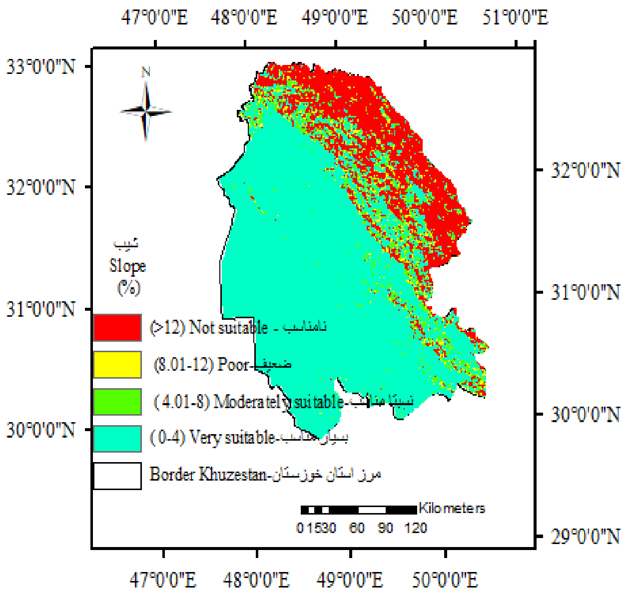
Fig. 11. Map of soil available phosphorus content in Khuzestan province



شکل ۱۲- نقشه پتاسیم قابل دسترس خاک در استان خوزستان

Fig. 12. Map of soil available potassium content in Khuzestan province

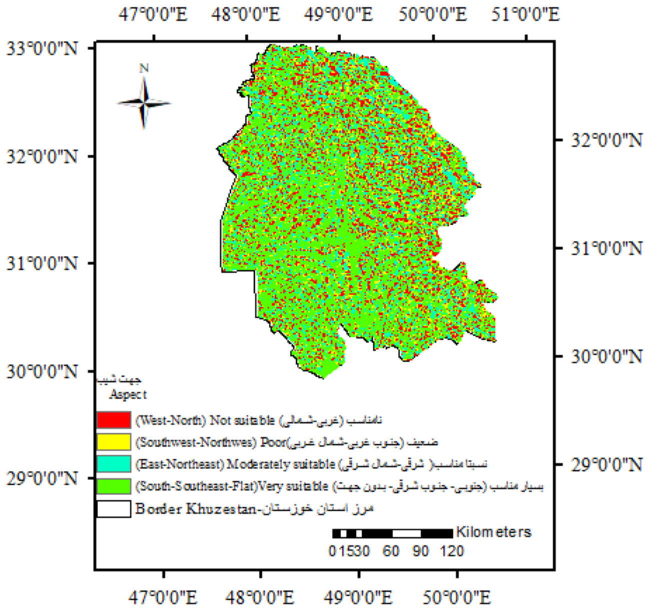
بر اساس نتایج میزان شیب اراضی در چهار دسته بسیار مناسب (S_1)، نسبتا مناسب (S_2)، ضعیف (S_3) و نامناسب (N) قرار گرفت (شکل ۱۳). نقشه توزیع مکانی شیب اراضی نشان داد که از سمت جنوب و غرب استان به سمت شمال و شرق استان، با افزایش ارتفاع، میزان شیب افزایش داشت. بر اساس اطلاعات جدول ۱، مناسب‌ترین میزان شیب جهت زراعت گندم در محدوده صفر تا چهار درصد است. نتایج حاصل از نقشه دسته‌بندی میزان شیب نیز نشان داد که دسته بسیار مناسب در بخش جنوبی استان قرار داشته و با افزایش ارتفاع، میزان شیب افزایش یافت و در بخش شمالی و شرقی استان، شرایط از نظر میزان شیب نامناسب بود. بر اساس اطلاعات جدول ۱، جهت شیب جنوبی، جنوب شرقی و بی‌جهت، دسته بسیار مناسب برای زراعت گندم محسوب می‌شود. جهت شیب در چهار دسته بسیار مناسب (S_1)، نسبتا مناسب (S_2)، ضعیف (S_3) و نامناسب (N) قرار گرفت (شکل ۱۴). بر اساس نقشه دسته‌بندی، استان خوزستان از نظر جهت شیب محدودیتی ندارد. طبق نیازمندی‌های توپوگرافی و درجه تناسب آن‌ها برای زراعت گندم (جدول ۱)، دسته بسیار مناسب ارتفاع جهت زراعت گندم در محدوده صفر تا ۱۰۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد. بر اساس نقشه دسته‌بندی ارتفاع، این عامل در چهار دسته بسیار مناسب (S_1)، نسبتا مناسب (S_2)، ضعیف (S_3) و نامناسب (N) قرار گرفت (شکل ۱۵)، به‌گونه‌ای که از جنوب به سمت شمال استان، ارتفاع افزایش یافت. دسته بسیار مناسب ارتفاع در بخش میانی و غرب استان قرار دارد.



شکل ۱۳- نقشه شیب اراضی در استان خوزستان

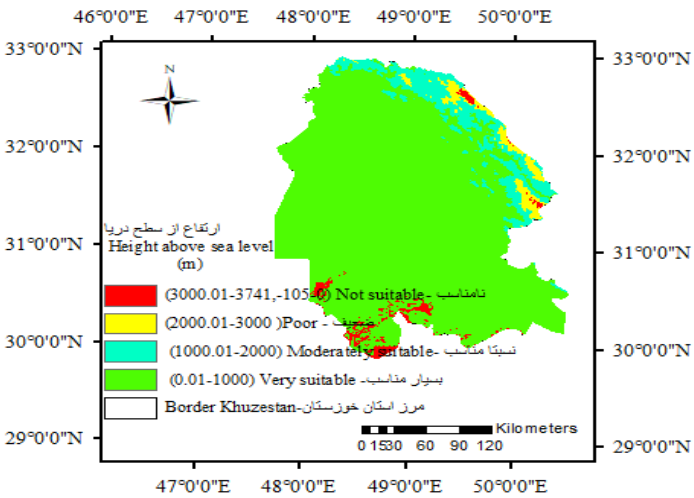
Fig. 13. Map of land slope in Khuzestan province

نتایج به دست آمده از تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که معیار اقلیم (۰/۴۷۲) نسبت به دو عامل خاک (۰/۴۴۴) و توپوگرافی (۰/۰۸۴)، از نظر اثر بر مکان‌یابی زراعت گندم در رتبه اول قرار دارد (جدول ۳). عوامل اقلیمی بیشترین تاثیر را بر عملیات کشاورزی دارند و پراکنش گونه‌های گیاهی اعم از وحشی و زراعی در عرض‌های مختلف جغرافیایی بستگی به عوامل اقلیمی، به خصوص بارندگی و دما دارد. بنابراین ارزیابی عوامل



شکل ۱۴- نقشه جهت شیب اراضی در استان خوزستان

Fig. 14. Map of land slope direction in Khuzestan province



شکل ۱۵- نقشه ارتفاع از سطح دریا در استان خوزستان

Fig. 15. Map of height above sea level in Khuzestan province

اقلیمی برای بهره‌برداری حداکثری از آنها ضرورت دارد. نتایج حاصل از پهنه‌بندی بوم‌شناختی زراعی اراضی زراعی استان گلستان برای زراعت کلزا با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که معیار اقلیم با ارزش وزنی ۰/۴۴۳، معیار خاک با ارزش وزنی ۰/۳۹۲ و معیار توپوگرافی با ارزش وزنی ۰/۱۶۴، به ترتیب در رتبه اول تا سوم قرار داشتند (Kazemi *et al.*, 2012). نتایج ارزیابی تناسب اراضی شهرستان گنبدکاووس برای زراعت جو دیم با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که عوامل اقلیمی (با وزن ۰/۵۱۷)، عوامل خاکی (با وزن ۰/۳۶۲) و عوامل توپوگرافی (با وزن ۰/۱۲۱)

به ترتیب در رتبه اول، دوم و سوم قرار داشتند (Farhadian Azizi *et al.*, 2017). در تحقیق حاضر در بین عوامل اقلیمی، عامل بارش با ارزش وزنی ۰/۵۴۸ بالاترین اهمیت و دمای میانگین با ارزش وزنی ۰/۱۱۷ کمترین اهمیت را داشت (جدول ۳). برآورد خلأ عملکرد گندم در حوزه قره‌سوی شهرستان گرگان با استفاده از رهیافت‌های جی آی اس، آر اس و مدل SSM نشان داد که بارندگی با وزن ۰/۵۳۰ بیشترین وزن را در بین عوامل اقلیمی داشت (Badsar *et al.*, 2018). نتایج پهنه‌بندی اقلیمی پتانسیل زراعت گندم در استان گلستان نشان داد که میزان بارندگی در بین عوامل اقلیمی، عامل محدود کننده محسوب می‌شود (Baniaghil *et al.*, 2017).

در بین زیرمعیارهای مورد مطالعه مربوط به خاک، شوری (۰/۴۳۴)، نیتروژن (۰/۱۷۵)، کربن آلی (۰/۱۶۵)، فسفر (۰/۰۷۹)، پتاسیم (۰/۰۷۵) و pH خاک (۰/۰۷۲) به‌ترتیب بیشترین تا کمترین ارزش وزنی را داشتند (جدول ۳). از بین عوامل خاکی، میزان شوری بیشترین وزن را داشت. در بین متغیرهای توپوگرافی، میزان شیب با وزن ۰/۵۴۷ اثر بیشتری نسبت به جهت شیب (با وزن ۰/۳۴۵) و ارتفاع از سطح دریا (با وزن ۰/۱۰۹) در مکان‌یابی زراعت گندم داشت (جدول ۳). نتایج ارزیابی تناسب اراضی شهرستان گنبدکاووس برای زراعت جو دیم با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که در بین عوامل توپوگرافی، میزان شیب با وزن ۰/۶۲۱، موثرترین عامل است (Farhadian Azizi *et al.*, 2017). نتایج یک تحقیق درباره پهنه‌بندی اقلیمی-زراعی ذرت دانه‌ای در استان لرستان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی نشان داد که در بین متغیرهای توپوگرافی، میزان شیب با وزن ۰/۰۶۷ بیشترین وزن را داشت و موثرترین متغیر در بین زیرمعیارهای توپوگرافی شناخته شد (Saydi Shahivandi *et al.*, 2013).

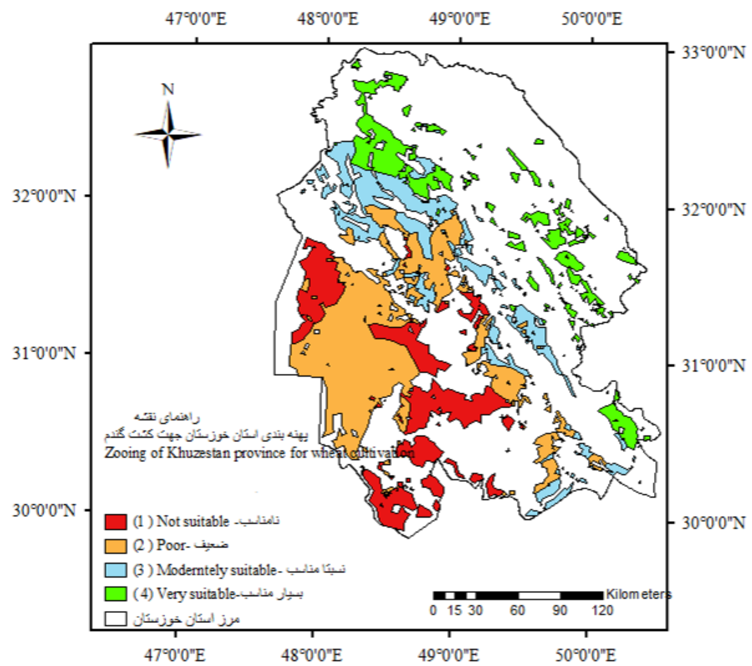
جدول ۳- ارزش وزنی و اهمیت معیارها و زیرمعیارهای مربوط به عوامل موثر در زراعت گندم در استان خوزستان

Table 3. Weighted value and importance of criteria and sub-criteria related to factors affecting wheat production in Khuzestan province

Criteria	معیار	ارزش وزنی Weighted value	اهمیت Importance	Sub-criteria	زیر معیار	ارزش وزنی Weighted value	اهمیت Importance
Climatic	اقلیمی	0.472	1	Rainfall	بارندگی	0.546	1
				Max. temp.	دمای حداکثر	0.188	2
				Min. temp.	دمای حداقل	0.147	3
				Mean temp.	دمای میانگین	0.117	4
Edaphic	خاکی	0.444	2	EC	هدایت الکتریکی	0.434	1
				Total N	نیتروژن کل	0.175	2
				O.C.	کربن آلی	0.165	3
				Ava. P	فسفر قابل دسترس	0.079	4
				Ava. K	پتاسیم قابل دسترس	0.075	5
				pH	اسیدیته	0.072	6
Topography	توپوگرافی	0.084	3	Slope	شیب	0.547	1
				Slope direction	جهت شیب	0.345	2
				Hieght ASL	ارتفاع از سطح دریا	0.109	3

نتایج نشان داد که پهنه‌بندی بوم‌شناختی زراعی گندم بر اساس تحلیل داده‌های اقلیمی، خاک و توپوگرافی امکان‌پذیر بوده و با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی نواحی همگن را با دقت مطلوب شناسایی و پهنه‌بندی دقیق با توجه به نتایج فرایند تحلیل سلسله مراتبی انجام شد که حاصل آن نقشه مکان‌یابی

زراعت گندم در استان خوزستان است که در چهار دسته بسیار مناسب (۴)، نسبتا مناسب (۳)، ضعیف (۲) و نامناسب (۱) نشان داده شده است (شکل ۱۶). بر اساس اطلاعات نقشه، از جنوب به سمت شمال و از غرب به سمت شرق استان، مطلوبیت عوامل محیطی بیشتر بود و اراضی با توان مناسب و مطلوب برای زراعت گندم در بخش شمالی و اراضی نامناسب در بخش جنوبی استان شناسایی شدند. از بخش جنوب به سمت شمال استان، ارتفاع از سطح دریا، میزان بارندگی، شیب و حاصل‌خیزی خاک افزایش و میزان شوری خاک و دما کاهش داشتند (شکل ۱۶).



شکل ۱۶- پهنه‌بندی بوم‌شناختی زراعی اراضی برای زراعت گندم در استان خوزستان

Fig. 16. Agroecological zooing of arable lands for wheat production in Khuzestan province

نقشه پهنه‌بندی استان نشان داد که حدود ۳۸۰ هزار هکتار (۱۵/۹۴ درصد) از اراضی زراعی استان در دسته بسیار مناسب (دسته ۴)، حدود ۴۷۶ هزار هکتار (۱۹/۹۴ درصد) در دسته نسبتا مناسب (دسته ۳)، حدود ۹۷۷ هزار هکتار (۴۰/۹۴ درصد) در دسته ضعیف (دسته ۲) و حدود ۵۵۳ هزار هکتار (۲۳/۱۷ درصد) در دسته نامناسب (دسته ۱) برای زراعت گندم قرار دارند. پهنه بسیار مناسب با ۱۵/۹۴ درصد و پهنه نسبتا مناسب با۴۰/۹۴ درصد، به‌ترتیب کمترین و بیشترین درصد از کل مساحت زمین‌های زراعی استان را دارند (جدول ۴). پهنه‌های نسبتا مناسب از نظر شرایط اقلیمی، خاکی و توپوگرافی در شرایط مناسبی از نظر زراعت گندم در استان هستند، اما نسبت به پهنه بسیار مناسب، توان کمتری دارند. پهنه نامناسب زراعت گندم در استان محدود است که علت آن را می‌توان به عوامل محیطی مانند بالابودن میزان شوری خاک، کاهش حاصل‌خیزی خاک، کاهش نزولات جوی و بالا بودن دما در بخش‌های جنوبی و غربی استان نسبت داد.

جدول ۴- مساحت پهنه‌های طبقه‌بندی شده برای زراعت گندم در استان خوزستان

Table 4. The area of classified zones for wheat production in Khuzestan province

Classification of zones	طبقه‌بندی پهنه‌ها	مساحت پهنه‌ها Area of zones (ha)	نسبت مساحت پهنه‌ها به مساحت کل اراضی کشاورزی Zone area ration to the total arable lands (%)
Very suitable	بسیار مناسب	380560.33	15.94
Moderately suitable	نسبتا مناسب	476193.23	19.94
Poor	ضعیف	977474.65	40.94
Not suitable	نامناسب	553176.16	23.17

بر اساس نتایج پهنه‌بندی اقلیمی زراعت گندم دیم در استان آذربایجان شرقی، سه پهنه بسیار مناسب، مناسب و ضعیف شناسایی شد (Kamali *et al*., 2008). موحدی و همکاران (Movahedi *et al*., 2013) با پهنه‌بندی نواحی اقلیمی استان خوزستان، پهنه‌های اقلیمی را به‌صورت ۱- پهنه کم‌بارش با رطوبت نسبی بالا (ناحیه جنوب غربی)، ۲- پهنه گرم و خشک (ناحیه شمالی- جنوبی)، ۳- پهنه مرطوب و معتدل (ناحیه مرکزی- جنوب شرقی)، ۴- پهنه پربارش (ناحیه شرقی) و ۵- پهنه مرطوب و معتدل (ناحیه شمالی) گزارش شدند. پهنه‌بندی بوم‌شناختی زراعی تولید گندم با هدف برآورد خلاء عملکرد در دشت شاوور خوزستان نشان داد که پهنه‌های بسیار مناسب در بخش شمالی این دشت قرار داشته و مکان مناسبی برای تامین نیازهای محیطی و زراعی گندم است. ماده آلی خاک و ظرفیت تبادلی کاتیونی نسبتا مناسب از جمله ویژگی‌های برتر این پهنه‌ها هستند (Mosadeghi *et al*., 2020). نتایج تحقیق فرج‌زاده و تکلوبیغش (Farajzadeh and Takalo Biqash, 2001) درباره پهنه‌بندی اگروکلیمایی برای زراعت گندم در استان همدان نشان داد که بخش‌های جنوبی استان برای زراعت گندم مساعد است. این مناطق عمدتا دارای بارندگی بیشتر و دمای مطلوب در دوره رشد گندم بودند. بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده، در استان خراسان رضوی، به دلیل ویژگی‌های مناسب اقلیمی، خاک‌های مناسب زراعی، شرایط آبی نسبتا مناسب، وجود دشت‌ها و دره‌های بزرگ و حاصل‌خیز، شرایط مناسبی برای زراعت گندم آبی وجود دارد (Salehnia and Falahi, 2010). در همین راستا در پهنه‌بندی اقلیمی اراضی استان خراسان جنوبی برای زراعت کلزا، شهرستان‌های واقع در بخش جنوبی استان (بشرویه و نهبندان) به‌عنوان مناطق نامناسب گزارش شدند. این مناطق بیشترین احتمال وقوع دماهای بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد در مرحله غلاف‌بندی و وقوع دماهای بالاتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد در مرحله رسیدگی دانه کلزا را داشتند (Rasooli and Ghaemi, 2011). عساکره و مازینی (Asakereh and Mazini, 2010) بیان داشتند که میانگین بارندگی سالانه در استان گلستان از شمال به جنوب افزایش می‌یابد و کمترین مقدار بارندگی در نواحی شمالی و بیشترین مقدار آن در نواحی جنوبی استان رخ می‌دهد و نقش ارتفاع از سطح دریا در میزان بارندگی بیشتر از طول و عرض جغرافیایی است. در مطالعه دیگری گرامی‌مطلق و شبانکاری (Gerami Mutlaq and Shabankare, 2006) با استفاده از روش‌های تجربی و شیوه‌های مبتنی بر روش‌های آماری استان بوشهر را پهنه‌بندی اقلیمی کرده و نتیجه گرفتند که مهم‌ترین عوامل شکل دهنده تنوع اقلیمی به‌ترتیب عامل رطوبتی- بادی، عامل ابری- بارشی، عامل گرمایی- دید و عامل بادی- غباری هستند.

نتیجه‌گیری

امروزه در ارزیابی و شناسایی مناطق مناسب برای زراعت گیاهان مهم زراعی و بهره‌برداری بهینه از منابع موجود جهت دستیابی به عملکرد بالا و پایدار، استفاده از ابزارها و روش‌های نوین کم‌هزینه و کارآمد،

ضـروری اسـت. در ایـن پـژوهش بـا ارزیـابی عوامـل مختلـف اقلیمـی، خـاکی و توپـوگرافی و بـا اسـتفاده از نظرات متخصصان زراعـت، منـاطق مناسـب و نامناسـب اسـتان خوزسـتان بـرای زراعـت گنـدم در چهـار طبقـه دسـتهبنـدی شـدند. بـا شناسـایی توانمنـدیهـا و محـدودیتهـای محیطـی زراعـت گنـدم در اسـتان خوزستان، مشـخص شـد کـه ۳۵/۸۸ درصـد از اراضـی کشاورزی استان توان بسیار مناسب و نسبتا مناسبی بـرای تولید گندم دارند که بـهطـور عمـده در منـاطق شـمالی، شمال غربی و شرق استان قرار دارند. در مناطق ضـعیف یا نامناسب جنوب، جنوب غربی و غرب اسـتان (۶۴/۱۲ درصـد) کـه بـا عـواملی ماننـد بـالابودن میـزان شـوری خاک، کاهش حاصـلخیـزی خـاک، کـاهش نـزولات جوی و بـالا بـودن دمـا مواجـه هسـتند، بـا انجـام برخـی اقـدامات ماننـد اسـتفاده از کودهـای سـبز و سـایر انـواع کودهای آلی برای افزایش محتوای کربن آلـی و بهبـود حاصـلخیـزی خـاک، مـیتـوان اراضـی ایـن طبقـات نامرغوب را از نظـر کیفـی ارتقـاء داد. عـلاوه بـرایـن در منـاطقی کـه نـزولات جـوی و منـابع آبـی قابـل اتکـایی ندارند، میتوان نسبت به توسعه شبکههـای آبیـاری و زه کشی اقدام نمـود. در ایـن منـاطق مـیتـوان روشهـایی ماننـد آبشـویی اراضـی شـور و زهکشـی آنهـا، اجـرای تناوب زراعـی، اسـتفاده از ارقـام متحمـل بـه تـنشهـای محیطی، اسـتفاده از روشهـای نـوین آبیـاری بـا هـدف افـزایش بهـرهوری آب را بـرای توسـعه زراعـت گنـدم توصیه کرد.

سپاسگزاری

از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزسـتان برای فراهم نمودن شرایط اجـرای ایـن تحقیـق تشـکر و قدردانی میشود.

منابع مورد استفاده

References

Alijani, F., Karbasi, A.R. and Mozaffari Mosen, M. 2011. Effect of temperature and precipitation on irrigated wheat yield. *Agricultural Economics and Development*, 19(76), pp.143-166. [In Persian]. doi: 10.30490/aead.2012.58750 .

Asakereh, H. and Mazini, F. 2010. Analysis of the probability distribution for the annual precipitation in the golestan province. *Iran-water Resources Research*, 6(1), pp.51-55. [In Persian].

Ashraf Jahani, M. 2021. Agricultural statistics. Agriculture. Ministry of Agriculture. Vice President of Economic Planning Center for Statistics. Information and Communication Technology. [In Persian]. https://agrieng.org/images/dlcenter/jahad/zeraee.pdf

Badsar, M., Kamkar, B., Soltani, A. and Abdi, A. 2018. Suitability assessment of wheat-grown fields using geographic information system, remote sensing and analytical network process method in Qarasu basin, Gorgan County. *Journal of Crop Production*. 11(1), pp.1-22. [In Persian]. doi: 10.22069/EJCP.2018.8803.1684

Baniaghil, A.S., Rahemi Karizki, A., Biabani, A. and Faramarzi, H. 2017. Potential climatic zoning of wheat (*Triticum aestivum* L.) Golestan province. *Journal of Agroecology,* 9(3), pp.821-833. [In Persian]. doi: 10.22067/jag. v9i3.52027

Farhadian Azizi, Sh., Kazemi, H. and Soltani, A. 2017. Land suitability evaluation of Gonbad–e-Kavous

township for rainfed barley cultivation using analytical hierarchy process. *Cereal Research*. 7(3), pp.437-450. [In Persian]. doi: 10.22124/c.2018.3732.1135

Fekadu, E., Negese, A. and Yildiz, F. 2020. GIS assisted suitability and analysis for wheat and barley crops through AHP approach at Yikalo watershed, Ethiopia. *Journal of Food Science and Technology.* 6(1743623), pp.1-21. https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1743623

Farajzadeh, M. and Takalo Biqash, A. 2001. Agroclimatic zoning of Hamedan province using geographic information system with emphasis on dryland wheat. *Geographical Research Quarterly*, 33(41), pp.93-105. [In Persian]. https://jrg.ut.ac.ir/article_12819_10dcf115b9e3bce8cda3f45e0cc8e39f.pdf

Feizizadeh, B., Abdali, H. Rezaei Banfsheh, M. and Mohammadi, Gh. 2012. Zoning of susceptible area to rainfed wheat in the Eastern Azerbaijan province by Geospatial analysis of GIS. *Journal of Agronomy (Pajouhesh & Sazandeghi)*, 3(96), pp.75-91. [In Persian].

Gerami Mutlaq, A. and Shabankare, M. 2006. Climatic zoning of Bushehr province. *Journal of Applied Sociology*, 20(1), pp.187-210. [In Persian].

Ghaffari, A., De Pauw, E. and Mirghasemi, A. 2012. Zoning of agro-ecology in the Karkhe River watershed. *Iranian Dryland Agromomy Journal,* 1(1), pp.1-16. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/idaj.2012.100093

Heidarpour, N., Bahramy, H., Mansoori, Y. and Hojati, S. 2018. Feasibility study of determination of planting areas for wheat and canola using GIS (Case study: Maroon basin of Khuzestan province). *Journal of Agroecology*, 10(2), pp.473-489. [In Persian]. doi: 10.22067/jag. v10i2.58043

Kamali, G.A., Sedqhianipour, A., Sedaghat Kardar, A. and Askari, A. 2008. The climatic zoning of dryland wheat in eastern Azarbaijan. *Water and Soil*. 22(2), pp.467-483. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/jsw.v0i22.1045

Kazemi Poshtmasari, H., Tahmasebi Sarvestani, Z. Kamkar, B., Shataei, Sh. and Sadeghi, S. 2012. Agroecological zoning of agricultural lands in Golestan province for canola cultivation by Geographic Information System (GIS) and Analytical Hierarchy Process (AHP). *Electronic Journal of Crop Production*. 5(1), pp.123-139. [In Persian]. dor: 20.1001.1.2008739.1391.5.1.8.7

Kazemi, H., Tahmasebi Sarvestani. Z., Kamkar, B., Shataei. Sh. and Sadeghi, S. 2016. Determination of suitable cropping pattern for Golestan province by geographical information system (GIS). *Watershed Management Research*. 29(110), pp.88-106. [In Persian]. doi: 10.22092/wmej.2016.112502

Kazemi, H. 2016. Application of Geographic Information System in Agricultural Sciences. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Nowruz Publications. [In Persian].

Kilic, O.M., Ersayin, K., Gunal, H. and Khalofan, A., 2022. Combination of fuzzy- AHP and GIS techniques in land suitability assessment for wheat cultivation. *Journal of Biological Sciences*, 29(4), pp.2634-2644. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.12050

Mikaniki, J., Ashrafi, A. and Sadeghi, H. 2013. Feasibility of rapeseed cultivation in Izeh city using

geographic information system (GIS). *Geoghraphy and Territorial Spatial Arrangement*, 3(8), pp.101-114. [In Persian]. doi: 10.22111/gaij.2013.1289

Mosadeghi, A., Akbari, N., Bakhshandeh, A. and Sarmadian, F., Nasiri, B. and Sufizadeh, S. 2020. Agroecological zoning of wheat (*Triticum aestivum* L.) production systems using RS and GIS in the Shavoor plain of Khouzestan. *Journal of Agroecology,* 11(4), pp.1527-1543. [In Persian]. doi: 10.22067/jag.v11i4.69867

Movahedi, S., Heydari Naserabadi, B., Hashemi Anna, S.K. and Ranjbar, F. 2012. Zoning of climatic areas of Khuzestan province. *Journal of Geographic Space*, 12(4,40), pp.64-73. [In Persian]. URL: http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-67-fa.html

Ranjbar, G.H. and Banakar, M.H. 2011. Salt tolerance threshold of four commercial wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Iranian Journal of Soil Research*. 24(3), pp.238-242. doi: 10.22092/ijsr.2011.126637

Rasooli, J. and Ghaemi, A.R. 2010. Canola cultivation area dividing about climatic temperature needs used GIS in Khorasan Provinces. *Electronic Journal of Crop Production.* 3(1), pp.121-138. [In Persian]. doi: 20.1001.1.2008739.1389.3.1.8.3

Saaty, T.L. 1999. Fundamentals of the Analytic Network Process. Proceedings of ISAHP. Kobe. Japan.

Saydi Shahivandi, M., Khaledi, Sh., Shakiba, A. and Mirbagheri, B. 2013. Zoning of grain corn farming climate in Lorestan province using geographic information system techniques. *Applied Research in Geographical Sciences.* 13(29). pp. 195-214. [In Persian]. URL: http://jgs.khu.ac.ir/article-1520-1-fa.html

Salehnia, N., and Falahi, M.A. 2010. Investigating the effect of climatic and economic factors on the performance of water wheat using the panel data model of a case study: Razavi Khorasan Province. *Journal of Water and Soil*, 24(2), pp.375-384. [In Persian]. doi: 10.22067/jsw. v0i0.3254

Sanjani, S. 2012. Application guide. Arc GIS 10. Abed Publications. Tehran, Iran. [In Persian].

Shahbazi, K., and Basharti, H. 2013. Overview agricultural soil fertility status of Iran. *Journal of Land Management.* 1(1), pp. 1-15. doi: 10.22092/lmj.2013.100072

Slimangli, E., Kamkar, B. and Arabi, Z. 2012. The relationship between wheat yield and climatic and topographical factors using GIS geographic information system in Minodasht city. National Conference on Environment and Plant Products.The National Conference on Environment and Plant Production. Oct. 6, 2012. Semnan Branch of Islamic Azad University. [In Persian].

Sys, C., Van Ranset, E., Debaveye, J. and Beernaert, F. 1993. Land Evaluation: Crop Requirements. International Training Center for Post Graduate Soil Scientist. Ghent University. Ghent., Belgium.

Tugac, M.G., Tercan, A.E., Torunlar, H. Karakurt, E. and Usul, M. 2023. Agricultural land suitability assessment with GIS-based multicriteria decision analysis and geostatistical approach in semiarid regions. *Journal of Soil Studies*, 12(1), pp.15-29. http://doi.org/10.21657/soilst.1328637